



1

VISIÓN POR COMPUTADOR




Div. Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Miguel Hernández

DETECCIÓN DE BORDES EN UNA IMAGEN



GRUPO DE TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial


2

VISIÓN POR COMPUTADOR

Tabla de Contenidos

- 📄 Definición de Borde
- ↩ Extracción de Bordes
- ↩ Operadores Derivada
- ↩ Comparación de Funciones Locales
- ↩ Comparación con Máscaras Orientadas
- ↩ Umbralización

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

Definición de Borde
3

VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Cualquier discontinuidad que sufre alguna función de intensidad sobre los puntos de la misma

↖ Tipos de bordes:

- ⇨ Cambio brusco en la distancia cámara-objeto (dc)
- ⇨ Cambio en la normal del objeto (n)
- ⇨ Cambio en la reflectancia del objeto (r)
- ⇨ Cambio en la proyección de la luz incidente (s)

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Tabla de Contenidos
4

VISIÓN POR COMPUTADOR

- ↖ Definición de Borde
- 📄 Extracción de Bordes
- ↖ Operadores Derivada
- ↖ Comparación de Funciones Locales
- ↖ Comparación con Máscaras Orientadas
- ↖ Umbralización

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

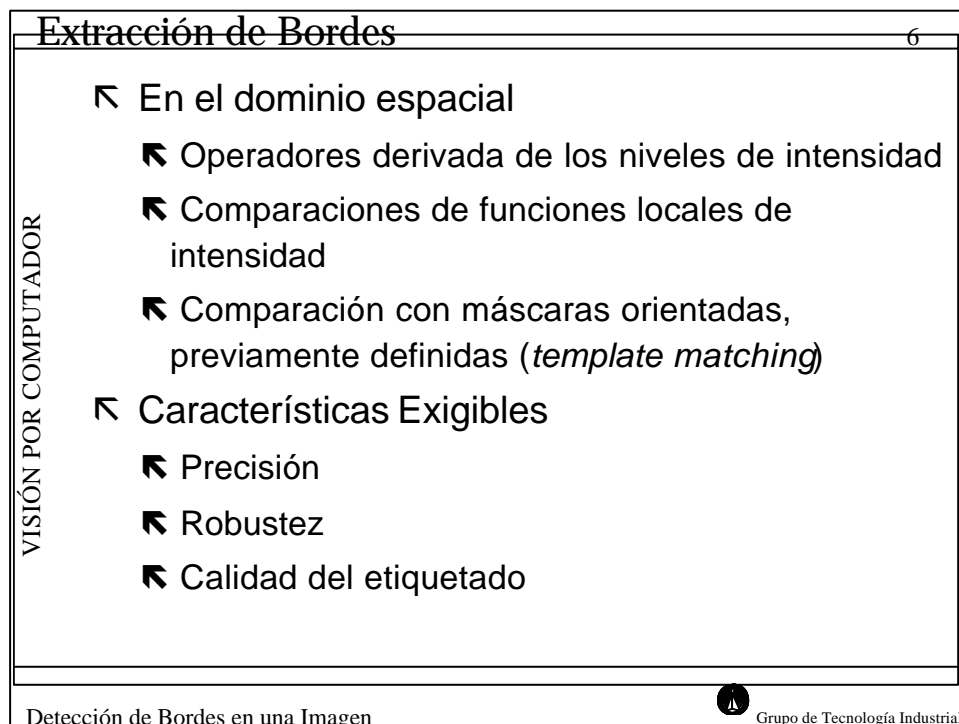
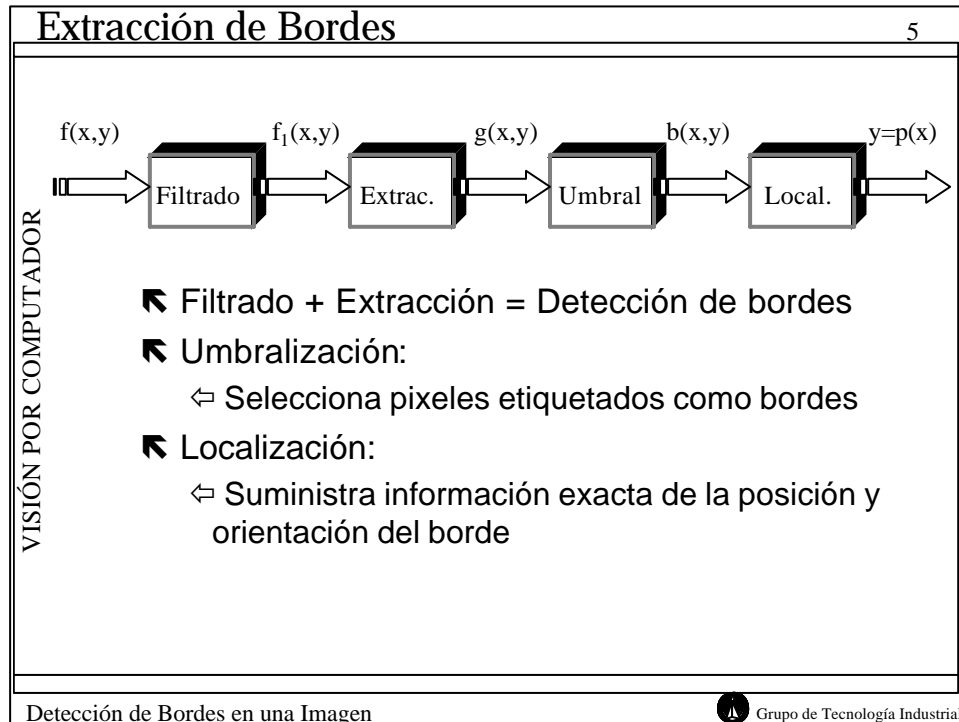

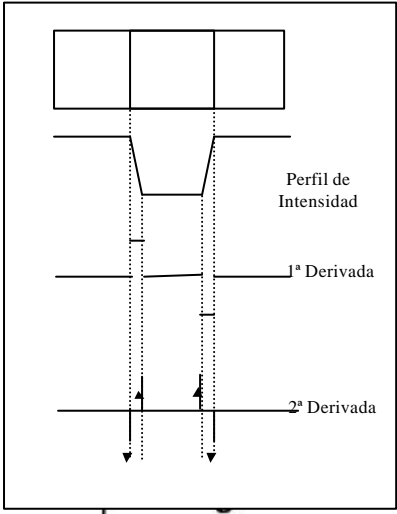



Tabla de Contenidos	7
VISIÓN POR COMPUTADOR	<ul style="list-style-type: none"> ↖ Definición de Borde ↖ Extracción de Bordes 📄 Operadores Derivada ↖ Comparación de Funciones Locales ↖ Comparación con Máscaras Orientadas ↖ Umbralización
Detección de Bordes en una Imagen	 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada	8
VISIÓN POR COMPUTADOR	<ul style="list-style-type: none"> ↖ Efecto <ul style="list-style-type: none"> ↖ La primera derivada produce un resalte de las zonas en que la intensidad no es homogénea. ↖ La segunda derivada origina un cambio de signo en la posición de borde. <ul style="list-style-type: none"> ↖ "Zero-crossing" (paso por cero)
Detección de Bordes en una Imagen	
Detección de Bordes en una Imagen	 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada
9

VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Vector Gradiente

$$\nabla f(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$\text{Mag}[\nabla f(x,y)] = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

$$\theta = \arctan \frac{\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}}{\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}}$$

↖ Vector unitario en la dirección del gradiente

$$u_\theta = \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \end{pmatrix}$$

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada
10



VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Discretización del Vector Gradiente

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \nabla_x f(x,y) = f(x,y) - f(x-1,y)$$

-1	1
----	---

⇔ Desplazamiento de los bordes en una cantidad positiva de 0.5 píxeles

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada

11

Discretización del Vector Gradiente (Eje Y)

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = \nabla_y f(x,y) = f(x,y) - f(x,y-1)$$

-1
1



VISIÓN POR COMPUTADOR

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada

12

Aproximaciones (Vector Gradiente)

$$\hat{M}ag = |\nabla_x f(x,y)| + |\nabla_y f(x,y)|$$

$$\hat{M}ag = |\nabla_r f(x,y)| + |\nabla_o f(x,y)|$$

siendo

$$\nabla_r f(x,y) = f(x,y) *$$

-1	0
0	1

$$\nabla_o f(x,y) = f(x,y) *$$

0	-1
1	0

VISIÓN POR COMPUTADOR

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

 $\nabla_x f(x,y)$  $\nabla_y f(x,y)$  $\nabla_x f(x,y)$  $\nabla_y f(x,y)$

↖ Primera Derivada Direccional

↖ Derivada de la función $f(x,y)$ en la dirección α

$$D_\alpha f(x,y) = \nabla f(x,y)^T \cdot u_\alpha = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \sin \alpha$$

↖ Derivada de la función $f(x,y)$ en la dirección del gradiente θ

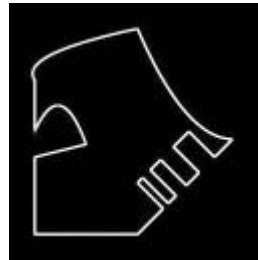
$$D_\theta f(x,y) = \nabla f(x,y)^T \cdot u_\theta = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \sin \theta$$

↖ Escogiendo el propio gradiente como vector

$$D_\theta f(x,y) = \nabla f(x,y)^T \cdot \nabla f(x,y) = \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right)^2$$

↖ Primera Derivada Direccional (Ejemplo)

VISIÓN POR COMPUTADOR



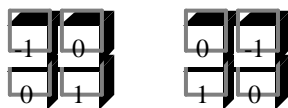
Primera Derivada Direccional

↖ Isotrópico (v)

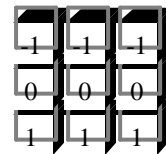
↖ No Lineal (i)



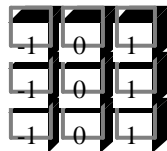
↖ Gradiente de Roberts



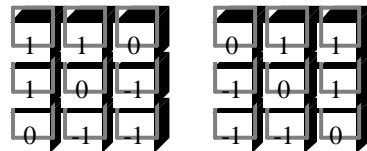
Detector horizontal



↖ Detector vertical



Detectores diagonales



VISIÓN POR COMPUTADOR

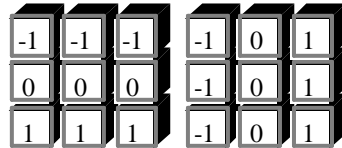


Operadores Derivada

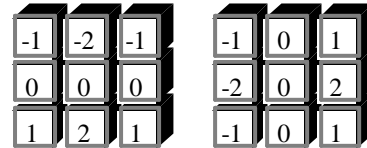
17

VISIÓN POR COMPUTADOR

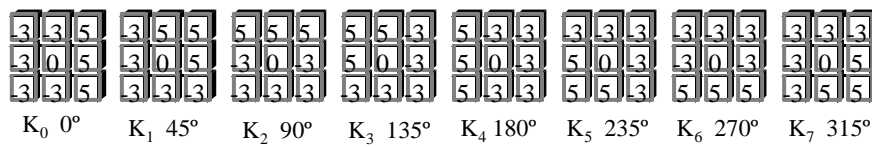
⇐ Operador de Prewitt



Operador de Sobel



⇐ Máscaras de Kirsch



Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

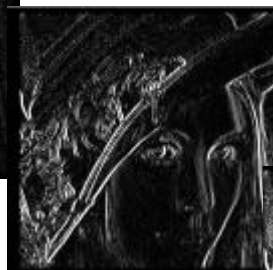
Operadores Derivada

18

↖ Ejemplos de operadores derivada



Detector horizontal



Detector vertical



Detector de Sobel



VISIÓN POR COMPUTADOR

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada
19

VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Algoritmo de Canny

- ↖ Obtención del gradiente
- ↖ Supresión no máxima al resultado del gradiente
- ↖ Histéresis de umbral a la supresión no máxima
- ↖ Cierre de contornos abiertos

1. Obtención del gradiente:

```

graph LR
    I --> Gaussiana
    subgraph Suavizado
    Gaussiana
    end
    Gaussiana -- J --> Gradiente
    subgraph Derivada
    Gradiente
    end
    Gradiente --> Em[E_m]
    Gradiente --> Ea[E_a]
  
```

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada
20

VISIÓN POR COMPUTADOR

2. Supresión no máxima al resultado del gradiente

- a. Para todo punto se obtiene la dirección más cercana d_k a $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 135° en $E_a(i,j)$
- b. Si $E_m(i,j)$ es menor que uno de sus dos vecinos en la dirección d_k , $I_N(i,j)=0$. Si no $I_N(i,j)=E_m(i,j)$

3. Histéresis de umbral a la supresión no máxima

Permite eliminar máximos procedentes de ruido, etc.

- a. Entrada I_N , E_a , y dos umbrales T_1 y T_2 ($T_2 > T_1$)
- b. Para todo punto en I_N , y explorando en un orden:
 - a. Localizar el siguiente punto tal que $I_N(i,j) > T_2$
 - b. Seguir las cadenas de máximos locales a partir de $I_N(i,j)$ en ambas direcciones perpendiculares a la normal al borde siempre que $I_N > T_1$. Marcar los puntos explorados.

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada

21

VISIÓN POR COMPUTADOR

4. Cierre de contornos abiertos

(Algoritmo de Deriche y Cocquerez)

- La imagen de entrada es una imagen de contornos binarizada
- Para cada punto de borde se le asigna un código que determina las direcciones de búsqueda para el cierre del contorno



1



2



4



128



8



64



32



16

- Para los pixels marcados con este código se marca como pixel de borde el de máximo gradiente en las tres direcciones posibles.
- Se repiten los pasos hasta que se cierran todos los contornos.

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada

22

VISIÓN POR COMPUTADOR

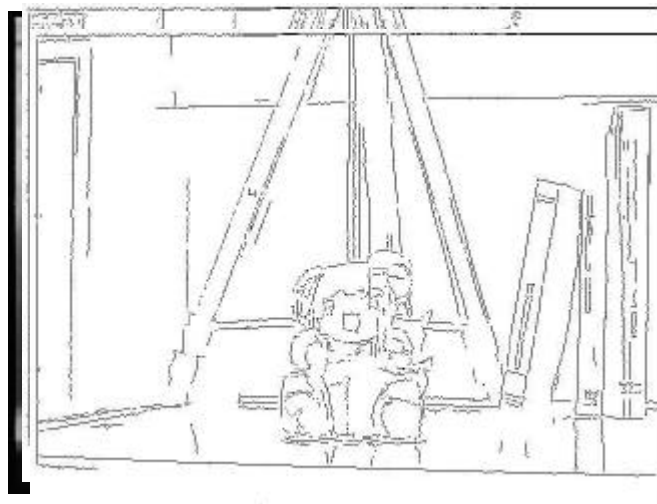


IMAGEN DE ENTRADA
SUPRESION DE FONDO
HISTERESIS DE UMBRAL

Detección de Bordes en una Imagen



Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada
23

VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Operador Laplaciana

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$$

↖ Discretizaciones aproximadas

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} \approx \Delta_{xx} f(x,y) = f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y)$$

1	-2	1
---	----	---

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \approx \Delta_{yy} f(x,y) = f(x,y+1) - 2f(x,y) + f(x,y-1)$$

1
-2
1



Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Operadores Derivada
24

VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Acción conjunta de las dos máscaras

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Operador Laplaciana

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

↖ Segunda Derivada Direccional

↖ En la dirección α

$$D_{\alpha}^2 f(x,y) = u_{\alpha}^T \cdot H \cdot u_{\alpha}$$

↖ siendo H la matriz Hessiana

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \end{pmatrix}$$

↖ Escogiendo el vector unitario en la dirección del gradiente

$$D_{\theta}^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} \cos^2 \theta + 2 \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} \sin \theta \cos \theta + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \sin^2 \theta$$

↖ Operador Laplaciana

0	1	0
1	4	1
0	1	0

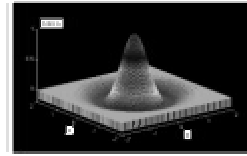
1	1	1
1	-8	1
1	1	1

1	2	1
2	4	2
1	2	1

↖ Operador Laplaciana de la Gaussiana

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} e^{-\frac{x^2+y^2}{2s^2}}$$

$$\nabla^2 G(x, y) = K \left(2 - \frac{x^2+y^2}{s^2} \right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2s^2}}$$



- ↖ El filtro obtenido resulta bastante costoso en tiempo de computación
- ↖ Al ser un operador segunda derivada se reduce el efecto del ruido al suavizar la imagen
- ↖ Se detectan bordes en todas las direcciones
- ↖ Se puede trabajar a diferentes escalas al variar el valor de la desviación estándar de la Gaussiana. Cuanto mayor es esta desviación, habrá un menor número de pasos por cero.



Original + LG

Positivos – Blanco
Negativos - Negro

Imagen de Ceros



↖ Aproximación de Haralick y Shaphiro


- ⇨ Se filtra la imagen con la Laplaciana de la Gaussiana
- ⇨ Un pixel es declarado como cero:
 - ☑ Si es menor que $-t$ y uno de sus ocho vecinos es mayor que t
 - ☑ Si es mayor que t y uno de sus ocho vecinos es menor que $-t$




t=4000

Desviación = 2.0





Tabla de Contenidos		29
VISIÓN POR COMPUTADOR	↖ Definición de Borde	
	↖ Extracción de Bordes	
	↖ Operadores Derivada	
	📄 Comparación de Funciones Locales	
	↖ Comparación con Máscaras Orientadas	
	↖ Extracción de Esquinas	
	↖ Umbralización	
Detección de Bordes en una Imagen		 Grupo de Tecnología Industrial

Comparación de Funciones Locales		30
VISIÓN POR COMPUTADOR	↖ Funciones Gaussianas	
	↖ Se comparan la imagen origen con imágenes filtradas con Gaussianas de distinta sigma	
	$\hat{f}_1(x,y,\sigma_1)=f(x,y)*h(u,v,\sigma_1)$ $\hat{f}_2(x,y,\sigma_2)=f(x,y)*h(u,v,\sigma_2)$	
	siendo h un filtro Gaussiano	
	↖ Realce de los bordes	
$g(x,y)=\hat{f}_1(x,y,\sigma_1)-\hat{f}_2(x,y,\sigma_2)$		
Detección de Bordes en una Imagen		 Grupo de Tecnología Industrial


Comparación de Funciones Locales

31

VISIÓN POR COMPUTADOR


Filtro: Gaussiano $\sigma=1$



Diferencia imágenes previas

Filtro: Gaussiano $\sigma=0.7$

Detección de Bordes en una Imagen


 Grupo de Tecnología Industrial

Comparación con Funciones Locales


32

VISIÓN POR COMPUTADOR

- ↖ Funciones Exponenciales simétricas
- ↖ Operaciones Morfológicas
 - ↖ Imagen dilatada multinivel
 - ↖ Imagen erosionada multinivel
 - ↖ Realce de bordes: Diferencia entre ambas

$$g(x,y)=[f(x,y)\oplus e(u,v)]-[f(x,y)\ominus e(u,v)]$$

Detección de Bordes en una Imagen


 Grupo de Tecnología Industrial

Comparación con Funciones Locales
33

VISIÓN POR COMPUTADOR




Imagen Dilatada Multinivel





Imagen Erosionada Multinivel



Diferencia Dilatación-Erosión



Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Tabla de Contenidos
34

VISIÓN POR COMPUTADOR

- ↖ Definición de Borde
- ↖ Extracción de Bordes
- ↖ Operadores Derivada
- ↖ Comparación de Funciones Locales
- 📄 Comparación con Máscaras Orientadas
- ↖ Extracción de Esquinas
- ↖ Umbralización

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Comparación con Máscaras Orientadas
35

VISIÓN POR COMPUTADOR

- ↖ Conjunto de Máscaras
 - ↖ Cada una resalta la existencia de un borde en una determinada dirección
 - ↖ Tamaño y número
 - ↔ Dependiente de la precisión requerida
 - ↖ Realce de los bordes

$$g(x,y,i) = \max\{f(x,y) * h_i(u,v)\}$$

Detección de Bordes en una Imagen




 Grupo de Tecnología Industrial

Tabla de Contenidos
36

VISIÓN POR COMPUTADOR

- ↖ Definición de Borde
- ↖ Extracción de Bordes
- ↖ Operadores Derivada
- ↖ Comparación de Funciones Locales
- ↖ Comparación con Máscaras Orientadas
- 📄 Extracción de Esquinas
- ↖ Umbralización

Detección de Bordes en una Imagen


 Grupo de Tecnología Industrial

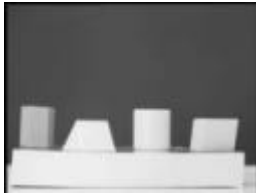

Extracción de Esquinas
37

VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Método de Kitchen y Rosenfeld


$$E = \frac{f_{xx}f_y^2 + f_{yy}f_x^2 - 2f_{xy}f_xf_y}{(f_x^2 + f_y^2)^{3/2}} \geq U_1$$

Siendo f_x, f_y las primeras derivadas y f_{xx}, f_{xy}, f_{yy} las segundas derivadas. U_1 es un umbral para determinar si hay borde.

↖ Curvatura Gaussiana (Beaudet)

$$K = \frac{f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2} \geq U_2$$

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Umbralización
38


VISIÓN POR COMPUTADOR

↖ Umbralización

↖ Etiquetado de los pixeles de borde

↖ Problemas

- ⇨ Pérdidas de conectividad:
 - ☑ bordes poco definidos
 - ☑ filtrados muy fuertes
 - ☑ umbral muy exigente
- ⇨ Generación de bordes de anchura múltiple:
 - ☑ efectos del filtrado
 - ☑ umbral poco exigente
- ⇨ Existencia de falsos bordes:
 - ☑ presencia de ruido

Detección de Bordes en una Imagen
 Grupo de Tecnología Industrial

Tipos de umbralización

Operadores basados en la primera derivada

Umbralización simple

Umbral T único, define la existencia de borde

$g(x, y) > T$ entonces BORDE

$g(x, y) < T$ entonces NO BORDE

Umbralización múltiple

Dos o más umbrales, que definen dos imágenes resultado

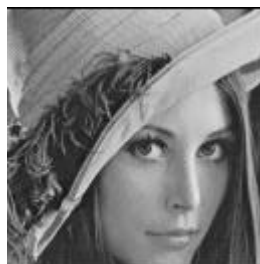
Determinación de máximos locales del gradiente

Ejemplos de imágenes de borde umbralizadas

Imagen original

Bordes (Sobel)

Umbral



- ↖ Localización de la posición del borde
 - ↖ Imagen umbralizada → Adelgazamiento
 - ⇐ Bordes de anchura unidad
 - ⇐ Información a nivel de pixel
 - ↖ Supresión de no máximos
 - ⇐ Bordes de anchura unidad